

경기도 환경대기 중 휘발성 유기화합물의 농도특성에 관한 연구

이용기 · 정주용 · 임홍빈 · 김주열
경기도보건환경연구원

The characteristics of ambient air VOCs Concentration in Kyonggi area

Yong Ki Lee, Joo Yong Jung, Heyng Bin Lim and Joo Yul Kim
Kyonggi-Do Institute of Health & Environment
Jangan-gu Pajang-dong 324-1, Suwon Kyonggi-do, 440-290, Korea

Four sites in Kyonggi area were selected to investigate the characteristics of ambient VOCs concentration. There existed remarkable differences in concentrations according to the sites and items. The VOCs concentrations were highest in the industrial area with all items and descending order of commercial, residential, and agricultural area. Seasonal concentrations showed the highest level in the spring and were descending order of winter, fall, and summer. Toluene showed the highest levels in every places regardless of the seasons. TCE and PCE showed high levels in the industrial area. Benzene, etylbenzene and xylene demonstrated relatively high levels except the industrial area in the spring and fall. NO_2 had the highest correlation with VOCs but Ozone had a reverse correlation. The average concentrations of ambient VOCs in Kyonggi area were lower than those of Seoul and the industrial complex area. Moreover these levels were yet lower than AALG of U.S. EPA.

Key word : Kyonggi, VOCs, Industrial, commercial, residential, Agricultural

I. 서 론

대기 중에서 오존 등 광화학 산화제는 광역적으로 형성되고 인체피해는 물론 산림고사 등 생태계 피해를 가속화시킨다는 연구결과가 보고됨에 따라 오존형성의 전구물질인 휘발성 유기화합물(Volatile organic compounds, VOCs)에 대한 관심은 점차 높아지고 있다.

VOC라 함은 탄소와 수소만으로 구성된 탄화수소 화합물과 할로겐화 탄화수소 등 상온·상압 하에서 기체상태로 존재하는 모든 유기성물질을 통칭하는 의미로 사용되며 U.S EPA에서는 대기 중에서 태양광선에 의해 질소산화물(NO_x)과 광화학 적 산화반응을 일으켜 지표면의 오존농도를 증가시키고 스모그 현상을 일으키는 유기화합물질이라고 정의하고 있다.¹⁾

VOC의 배출은 경제 및 산업구조의 특성에 따라

달라질 수 있다. 예를 들면 유기 용제 및 세정제를 많이 소비하는 산업구조 및 소비성향에서는 특별한 대책이 없는 한 VOC 배출은 증가할 수 밖에 없다. 우리나라는 최근 급격한 자동차 증가로 인해 수도권지역에서는 이미 하절기 중 광화학 스모그가 발생하고 있으며 적절한 대책이 수립되지 않는 한 이러한 경향은 더욱 심화될 것으로 예상되며 아울러 급격히 증가하고 있는 도시인의 폐암발병률을 고려할 때 발암성 대기오염물질에 관한 조사 평가는 시급한 과제라고 생각된다.

따라서 정부에서는 VOC 배출에 대한 규제를 강화하기 시작하여 '95년에 처음으로 대기환경보전법에 탄화수소류 중 증기압이 27.6 KPa(4.01 psi) 이상인 물질을 VOCs라 정의하였고, 다음해인 '96년 전남 여천을 대기보전특별대책지역으로 지정하였다. '97년부터는 48종의 VOCs를 규제하기 시작하였으며 대기보전특별대책지역을 울산, 미포, 온산

공단으로 확대하였다. 그러나 VOCs의 규제범위가 너무 광범위하여 '97년 대기환경보전법을 다시 개정하여 증기압이 10.3 KPa 이상인 물질 31종을 VOCs 규제물질로 최종확정하였다. 또 '99년 3월부터는 서울 및 수도권 15개 시를 비롯하여 전국의 대기환경 규제지역에서 VOCs 방지시설에 대한 시설규제 및 대기 중 VOCs의 측정을 의무화하였다.

도시대기 중에서 검출되는 VOCs 중에는 여러 가지 종류가 있으나 출현 분포나 농도 및 인체의 유해성 측면에서 벤젠을 포함한 방향족 탄화수소와 알데히드류에 많은 관심이 모아지고 있으며 PCE, TCE 등과 같은 할로겐화 탄화수소류는 독성은 강하나 특정된 산업장과 연관되어지는 물질로서 일반 환경 대기 중에서의 농도는 매우 낮은 수준이거나 검출 한계이하로서 존재한다고 알려져 있다.^{2,3)}

VOCs의 환경 보건학적 중요성은 첫째 지표면에서 광화학 반응에 참여하여 오존등 과산화물을 생성한다는 것이고, 둘째, VOCs 그 자체가 독성 및 발암성을 갖고 있어 인체에 미치는 유해성이 크고 셋째, 성층권의 오존층 파괴와 지구온난화를 가중시킨다는 것이다. 이와 같이 환경 보건학적으로 심각한 문제를 야기 시키는 VOCs에 대해 정부에서도 대기환경규제지역을 대상으로 VOCs 측정을 의무화 함과 동시에 '99년 6월 대기환경공정시험법⁴⁾에 VOCs 시험방법을 고시하였다.

VOCs를 조사 분석하는 방법은 많은 연구자들에 의해 연구되어 현재는 시험법이 정립되었다고 할 수 있는데 그대표적인 분석법이 고체흡착 용매추출법, 고체흡착 열탈착법, 저온농축법, 온라인 측정법이다.^{5,6)} 각각의 측정방법에 따라 특징을 갖고 있지만 개정된 대기환경공정시험법에서는 관측목적에 따라 매우 광범위한 측정을 편리하게 할 수 있는 고체흡착 열탈착법과 분석비용이 저렴하고 장시간 시료채취가 용이한 고체흡착 용매추출법을 주 시험법으로 하고 있다.

그동안 많은 연구자들은 고체흡착 열탈착법에 의한 실내·외 대기 중 VOCs 농도에 관하여 보고가 있었으나 단시간의 시료 채취로 측정지점의 농도를 대표할 수 없고 1회 또는 2~3회의 측정으로 조사지역의 월별 또는 계절별 농도변화 등을 파악

하기에 어려운 단점을 노출하였다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 환경대기 중 인체에 유해성이 높은 휘발성 유기물질을 대상으로 경기도 내의 공단, 도시, 주거지역 등 대표지역을 선정하여 비교적 장시간 시료채취가 용이한 고체흡착 용매추출법으로 지역의 대표 농도를 측정하고 지역별 편차를 비교 검토하였으며 매월 같은 지역에서 측정을 반복하여 월별, 계절별 농도특성을 분석 기존의 보고된 자료들과 비교 분석하여 그 결과를 보고하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

시료채취는 '98년 2월부터 12월까지 매월 하였으며 채취지점은 경기도 내 공업, 상업, 주거, 녹지지역 각 1개 지점으로 하였다. 시료는 Carbosive S-III 200 mg이 충전된 흡착튜브(ORBO-91)에 미량펌프를 이용하여 약 100 ml/min의 유속으로 24시간 포집하여 1개의 시료로 하였고 3일간 연속채취하였다. 시료의 정확한 유량을 측정하기 위하여 Dry gas meter를 이용하여 총량을 측정하였으며 장시간 포집이므로 광화학 반응에 의한 손실을 방지하기 위해 차광장치를 하였다. 채취된 시료는 즉시 실험실로 운반하여 필요한 전처리를 행한 후 분석시료로 하였다.

2.2. 전처리 및 GC/MS 분석조건

채취된 시료로부터 분석대상물질을 추출해 내기 위해 흡착튜브로부터 충전제를 꺼내 2 ml용기(vial with septum)에 옮기고 Carbon Disulfide(CS₂ low benzene grade) 1 ml를 가하여 약 20분 정지 후 추출액을 GC/MS(FISON Trio 1000)을 이용하여 분석하였다. 분석에 사용된 GC/MS의 조건은 Table 1과 같으며 표준물질은 VOCs 17종이 100 ppm으로 혼합되어 있는 액체표준용액(Supelco)을 이용하였다. 확인 정량을 위하여 사용된 Selected ion과⁷⁾ 검량선은 Table 2에 나타내었다.

Table 1. GC/MS operating parameters for VOCs

| Parameter | Condition |
|--------------------------|--|
| GC/MS | FISON 8000 series/Trio 1000 |
| Column | Vocol (60m×0.25mm×1.5 μ m) |
| Carrier gas | He at 1.0ml/min |
| Injection port temp. | 250 $^{\circ}$ C |
| Oven temp. program | 50 $^{\circ}$ C(10min) $\xrightarrow{5^{\circ}$ C/min} 170 $^{\circ}$ C(15min) |
| Ionization mode | EI+ |
| Ionization energy | 70ev |
| Transfer line temp. | 220 $^{\circ}$ C |
| Source temp. | 240 $^{\circ}$ C |
| Ms scan range | 50~350amu |
| SIM mode (Solvent delay) | 11.0min |

Table 2. Selected ions and calibration data for target VOCs

| Compound name | m.w | Selected ion | calibration Table(Y=ax+b) | | |
|---------------------|-----|--------------|------------------------------|--------|-------|
| | | | a | b | r |
| Benzene | 78 | 77.78 | 0.439 | 0.588 | 0.992 |
| Trichloroethylene | 130 | 95.132 | 0.416 | -0.002 | 0.999 |
| Toluene | 92 | 91.92 | 0.411 | 0.043 | 0.995 |
| Tetrachloroethylene | 164 | 131.166 | 0.119 | 0.018 | 0.991 |
| Ethyl benzene | 106 | 91.106 | 0.209 | 0.030 | 0.995 |
| m,p-Xylene | 106 | 91.106 | 0.709 | 0.062 | 0.996 |
| o-Xylene | 106 | 91.106 | 0.347 | 0.030 | 0.996 |

3. 결과 및 고찰

대기 중 휘발성 유기화합물의 농도특성을 연구하고자 경기도 내 지역별 대표성을 감안하여 4개 지역을 선정, VOCs의 농도를 조사한 결과 Table 3과 같았다. 표에 나타난 바와 같이 VOCs 농도는 지역별, 항목별로 현저한 농도특성을 나타냈다.

3.1. 지역별 VOCs 농도 특성

조사지역별 VOCs의 농도분포는 Table 3 및

Fig. 1과 같다. 공업지역에서 전항목이 최고농도를 나타냈으며, 상업, 주거, 농촌지역 순으로 농도가 감소하였다. 최고농도를 나타낸 항목은 Toluene으로서 공업지역에서 100.66 μ g/m³으로 농촌지역 31.93 μ g/m³보다 3배 이상 고농도를 나타냈다.

가장 큰 폭의 농도차이를 보인 것은 TCE와 PCE로 공업지역에서는 21.326 μ g/m³, 1.984 μ g/m³을 나타낸 반면, 농촌지역에서는 0.416 μ g/m³, 0.023 μ g/m³에 나타내 40~80배 정도의 차이를 보였으나 U.S EPA의 대기중 목표기준치인 대기환경 목표수준(AALG)⁸⁾보다는 전항목이 낮은 값을 보였다. 또한 공업지역에서는 TCE, PCE 등과 같은 Halo Hydrocarbon류가 고농도를 보인 반면 타 지역에서는 Benzene, Xylene과 같은 방향족 화합물이 고농도를 나타내는 특성을 보였다.

Table 3. The concentration of ambient VOCs with sampling sites

| Compound | unit : μ g/m ³ | |
|--------------|-------------------------------|---------------------|
| | Commercial | Industrial |
| Benzene | 7.557 \pm 5.224 | 9.995 \pm 6.322 |
| TCE | 3.135 \pm 3.014 | 21.326 \pm 22.100 |
| Toluene | 32.616 \pm 24.115 | 100.66 \pm 102.08 |
| PCE | 0.379 \pm 0.820 | 1.984 \pm 2.243 |
| Ethylbenzene | 4.256 \pm 3.067 | 8.508 \pm 5.889 |
| m,p-Xylene | 3.446 \pm 2.712 | 5.936 \pm 3.537 |
| o-Xylene | 2.875 \pm 2.448 | 4.012 \pm 2.905 |

| Compound | Location | |
|--------------|---------------------|---------------------|
| | Residential | Agricultural |
| Benzene | 8.683 \pm 7.934 | 5.965 \pm 5.438 |
| TCE | 1.435 \pm 2.590 | 0.461 \pm 0.577 |
| Toluene | 31.843 \pm 26.719 | 31.930 \pm 29.872 |
| PCE | 0.834 \pm 2.728 | 0.023 \pm 0.120 |
| Ethylbenzene | 4.257 \pm 3.738 | 1.167 \pm 1.228 |
| m,p-Xylene | 2.191 \pm 1.586 | 0.904 \pm 1.058 |
| o-Xylene | 0.909 \pm 1.400 | 0.527 \pm 0.747 |

TCE, PCE 등과 같은 Halo carbon류는 산업장에서 세정용제로 많이 사용되는 물질로 흡입하였

을 경우 중추신경 장애나 불면 기억력 저하를 나타내며 발암성이 있는 것으로 보고되고 있다.

반면 Benzene과 Xylene과 같은 방향족 탄화수소는 연료 연소나 건축물도장에서 주로 발생하는 물질로⁹⁾ 자동차와 같은 이동배출원에 의해 대기 중 농도 상승이 예상되며 건축 및 공산품의 도장공정이 주요배출원으로 알려져 있다. 따라서 산업공정계 VOC인 Halo Carbon류는 고정오염원의 오염방지 대책이 요구되며 석유연료계인 방향족 탄화수소는 자동차와 같은 이동오염원의 관리와 건축 및 공산품 도장기술 개선 등의 방지대책이 요구된다.

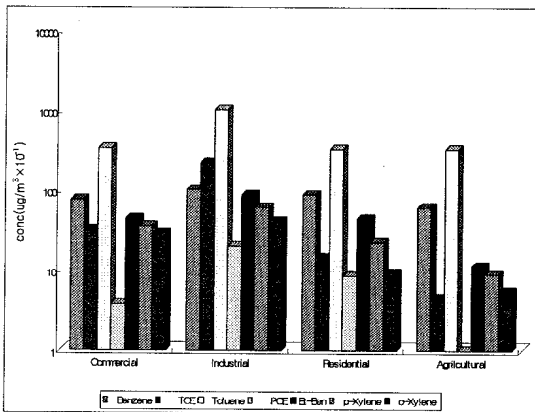


Fig. 1. VOCs concentration characteristics with locations.

3.2. 계절별 농도특성

계절별 VOCs의 농도특성을 Table 4. 및 Fig. 2에 나타내었다. 사계절중 가장 높은 농도는 봄철이었으며, 겨울>여름>가을 순으로 농도가 감소하였다. 조사된 전항목의 총 VOC 농도는 봄이 112.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮은 가을의 38.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약 3배정도 높았다. 가장 높은 농도 편차를 보인 항목은 Toluene으로 5배 정도의 계절별 편차를 나타냈으며, 대부분의 항목은 2~3배의 계절별 편차를 나타냈다.

Toluene은 건축물 도장용 페인트나 락카, 자동차 연료등에 이용되기 때문에 건축활동이 활발해지는 봄철에 사용량의 증가로 대기 중 농도가 상승되는 것으로 예측된다. 일반적으로 겨울철과는 달리 여름철에는 높은 온도로 인해 VOCs의 휘발성이 증가되어 대기 중 VOCs의 농도는 증가될 것으

로 생각되나, 온도가 높은 여름철에는 배출된 VOCs가 광화학 반응에 기여, 2차 오염물질로 전환이 빠르기 때문에 대기중 농도의 순증가량은 낮은 것으로 알려져 있다.²⁾

Table 4. The seasonal concentration range of ambient VOCs

unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

| Compound | Season | |
|--------------|-----------------|-----------------|
| | Spring | Summer |
| Benzene | 10.101 ± 8.559 | 7.368 ± 4.364 |
| TCE | 11.095 ± 10.201 | 3.287 ± 3.790 |
| Toluene | 78.821 ± 85.979 | 26.487 ± 32.957 |
| PCE | 0.740 ± 1.917 | 0.776 ± 1.569 |
| Ethylbenzene | 5.730 ± 4.618 | 4.001 ± 5.207 |
| m,p-Xylene | 3.839 ± 3.039 | 1.518 ± 1.563 |
| o-Xylene | 1.824 ± 2.643 | 2.056 ± 2.424 |

| Compound | Season | |
|--------------|-----------------|-----------------|
| | Fall | Winter |
| Benzene | 4.303 ± 4.014 | 6.543 ± 6.303 |
| TCE | 4.018 ± 3.698 | 2.901 ± 3.581 |
| Toluene | 20.286 ± 16.473 | 63.226 ± 57.226 |
| PCE | 0.532 ± 0.879 | 1.217 ± 2.012 |
| Ethylbenzene | 2.678 ± 2.156 | 5.538 ± 5.016 |
| m,p-Xylene | 3.870 ± 3.313 | 3.730 ± 3.633 |
| o-Xylene | 2.444 ± 2.454 | 2.251 ± 2.517 |

* Mean ± SD

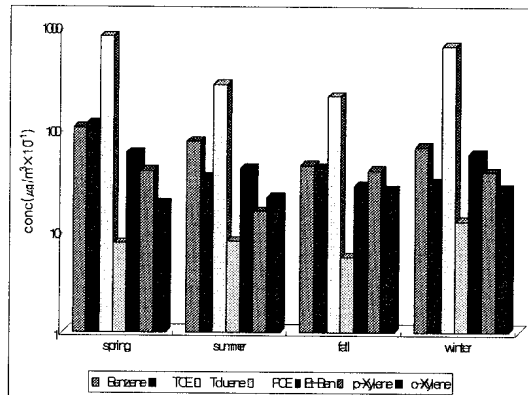


Fig. 2. VOCs concentration characteristic with seasons.

반면 겨울철에는 자동차 및 난방 연료의 급격한

증가로 연료연소시 발생하는 VOCs가 정제된 대기 기상조건의 영향으로 대기 중에 체류되어 농도 상승을 가중시키는 것으로 사료된다. 또한 겨울철 VOCs농도상승의 또 다른 중요한 요인은 장거리 이동대기오염물질의 영향을 들 수 있다. 즉 겨울철 북서 계절풍에 의한 중국대륙의 오염물질이 한반도에 미치는 영향을 생각 할 수 있는데 이것은 국가간의 중요한 사안으로 향후 꾸준한 조사연구가 필요할 것이다.

3.3. 일반 대기오염 물질과의 상관관계

Table 5에 나타난 바와 같이 조사된 VOCs 항목들과 가장 높은 상관관계를 나타낸 것은 NO₂였고 오존은 역상관관계를 나타냈다.

Table 5. Correlations between VOCs and ambient pollutants

| | CO | SO ₂ | O ₃ |
|------------|---------|-----------------|----------------|
| Benzene | -0.027 | 0.070 | 0.523** |
| TCE | 0.530** | 0.315 | -0.289 |
| Toluene | 0.236 | 0.381 | -0.049 |
| PCE | 0.549** | 0.221 | -0.379* |
| E-Benzene | 0.239 | 0.128 | -0.059 |
| m,p-Xylene | 0.612** | 0.540** | -0.233 |
| o-Xylene | -0.199 | -0.446** | 0.031 |
| VOCs | 0.218 | 0.370 | 0.058 |

| | NO | NO ₂ | NOx | PM ₁₀ |
|------------|---------|-----------------|---------|------------------|
| Benzene | 0.086 | 0.535* | 0.277 | -0.234 |
| TCE | 0.120 | -0.126 | 0.039 | 0.129 |
| Toluene | 0.276 | 0.623 | 0.439* | 0.317 |
| PCE | 0.366 | 0.030 | 0.273 | -0.06 |
| E-Benzene | 0.316 | 0.386 | 0.411 | -0.129 |
| m,p-Xylene | 0.575** | 0.590** | 0.631** | 0.086 |
| o-Xylene | -0.011 | -0.062 | 0.062 | -0.069 |
| VOCs | 0.261 | 0.564 | 0.412 | 0.257 |

* P<0.05, ** P<0.01

NO₂는 연료 연소시 발생하는 대표적 오염물질로 NO₂와 VOCs의 상관관계가 높다는 것은 발생

원이 같다는 것을 의미한다. 실제로 여러 가지 VOCs 배출원 자료에 의하면 전체 발생량의 30% 정도는 자동차 및 기타연료 연소과정에서 배출되는 것으로 보고되고 있다.¹⁾ 따라서 화석연료의 사용과 연관되어지는 대기 중 VOCs의 농도증가는 일반 대기오염물질의 농도 증가와도 밀접한 관계가 있는 것이 증명되므로 대기오염 저감대책은 한 쪽으로 일관되서는 안될 것으로 판단된다.

Table에 나타난 바와 같이 오존과 VOCs 대부분의 항목들은 역상관을 나타내고 있다. 이것은 오존 농도의 상승이 대기 중 VOCs를 감소시키는 것을 의미하며, 오존의 전구물질이 VOCs라는 것을 증명하는 것이다. 따라서 최근 자주 발생되고 있는 광화학 대기오염은 그 원인 중 하나가 VOCs라는 것에 접근 할 수 있으며, 오염방지대책을 강구하는데 많은 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

3.4. VOCs의 농도 수준

Table 6은 경기지역에서 조사된 VOCs와 타지역에서 조사된 VOCs와의 농도를 비교한 것이다. 조사된 방법이나 지형기후 및 여러 변수들이 있지만 실측된 농도이므로 객관적 비교자료로 활용하였다.¹⁰⁾ 경기지역의 대기 중 VOCs의 농도는 서울 도심지역이나 공단지역 보다는 대부분의 항목들이 낮은 농도를 보였고 배경지역보다는 높은 농도를 보였다. 또한 일본의 농도수준은¹¹⁾ 전국적인 평균 값이기는 하나 우리나라 배경지역 농도수준 보다 낮은 값으로 매우 청정함을 알 수 있다. 그러나 경기지역 및 우리나라 다른 지역도 U.S EPA에서 권고하고 있는 대기환경목표수준보다는¹¹⁾ 낮은 농도로 아직 대기 중 VOCs의 오염정도는 심각한 수준은 아닌 것으로 나타났다. 하지만 유해 오염물질인 VOCs에 의해 피해가 발생하지 않도록 장기적인 추세변화 및 대기오염개선 정책을 위하여 지속적인 조사연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

고체흡착 용매 추출법으로 조사연구한 경기도 지

역 휘발성 유기화합물의 농도특성은 다음과 같았다.

Table 6. Comparison of VOCs concentration with locations

| unit : ppb | | | |
|------------|------------|------------|-------------|
| Item | Kyonggi | Seoul | Industrial |
| Benzene | 2.31±0.29 | 6.66±4.76 | 1.73±1.36 |
| TCE | 1.12±1.53 | 0.09±0.10 | - |
| Toluene | 11.97±7.86 | 18.29±5.56 | 21.95±24.08 |
| PCE | 0.11±0.09 | - | - |
| E-Benzene | 0.96±0.42 | 2.62±0.94 | 3.18±1.30 |
| m,p-Xylene | 0.66±0.33 | 2.27±1.10 | 2.19±1.13 |
| o-Xylene | 0.44±0.27 | 1.85±1.28 | 1.56±0.52 |

| Item | Background | Japan | AALG |
|------------|------------|-------|-------------|
| Benzene | 0.88±0.10 | 0.95 | 50/day |
| TCE | - | 0.33 | 0.7/year |
| Toluene | 1.91±0.78 | - | 380/8hr |
| PCE | - | 0.13 | 1.2/year |
| E-Benzene | 1.22±0.12 | - | 30/day |
| m,p-Xylene | 1.76±1.06 | - | 660(13)/day |
| o-Xylene | 0.80±0.16 | - | 66/day |

1) 공업지역이 최고농도를 나타냈다. 항목으로는 Toluene이 최고농도였으며, 공업지역에서는 TCE, PCE가 기타 지역에서는 Benzene, Xylene가 높은 농도를 나타냈다.

2) 사계절 중 봄철이 최고농도였으며, 동고하저 현상의 특성을 나타냈다.

3) 일반 대기오염물질 중 VOCs와 가장 높은 상관관계를 보인 것은 NO₂였으며 오존은 역상관을 나타냈다.

4) 경기도 환경대기 중 VOCs의 평균농도는 서울도심이나 공단지역 평균농도보다 낮았다.

대기 중 휘발성 유기화합물의 농도는 배출원의 배출특성에 따라 지역별, 계절별로 현저한 농도차이를 보이는 특성을 나타냈다. 따라서 대기 중

VOCs에 의한 오염방지대책을 수립하기 위해서는 우선 배출원의 배출특성을 정확히 파악하여 배출 오염물질에 적당한 최적의 방지시설을 설치하는 것이 무엇보다 중요하며, 노천에서의 도장금지, 비휘발성 용제를 사용하는 건축물 도장 기술의 개선, 청정연료 사용 등이 대기 중 휘발성 유기화합물의 농도를 제어할 수 있는 방법이라 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 이규용, 1999, 대기환경규제지역 휘발성유기화합물질 배출시설 규제 업무편람, pp.3-10, 환경부.
- 2) S. O. Baek and Y. S. Kim, *Atmospheric Environment*, 1997, 11(4), 529-544
- 3) 及川紀久雄, 1987, 先端技術産業における危険・有害化學物質プロフィール100, pp.149-164, 丸善株式會社.
- 4) 환경부, 1998, 대기오염공정시험방법.
- 5) 백성욱, 1998, 공기중 극미량 휘발성유기화합물의 포집과 분석방법 개발, pp.6-16, 연학협동연구최종보고서.
- 6) G. Subramanian, 1995, *Quality Assurance in Environmental Monitoring*, pp.134-190, The Perkin Elmer Corporation, GC-418.
- 7) 이원, 홍지은, 박송자, 표희수, 김인환, *Anal. Sci. & Tech*, 1998, 11(5), 321-331
- 8) Calabress & Kenyon, 1991, *Air Toxics and Risk Assessment*.
- 9) 전미경, 1999, 21C 경기 대기보전 실천계획, pp. 262-276, 경기도.
- 10) 김선태, 김학민, 박민수, 1999, 1999년도 춘계 한국대기환경학회 학술대회 논문집, pp.174-175
- 11) 環境廳, 1998, 平成10年度地方公共團體における有害大氣汚染物質モニタリング, pp.3-4, 일본환경청